

## MINERALOGIE MAGNETIT-GRUNERIT-SIDERITOVÉHO ZRUDNĚNÍ Z RADOŠKOVA (JEDNOTKA BÍLÉHO POTOKA, SVRATECKÁ KLENBA, MORAVIKUM)

MINERALOGY OF MAGNETITE-GRUNERITE-SIDERITE ORES IN RADOŠKOV  
(BÍLÝ POTOK UNIT, SVRATKA DOME, MORAVICUM)

EVA VÍŠKOVÁ, BOHUSLAV FOJT, VLADIMÍR HRAZDIL & STANISLAV HOUZAR

### Abstract

Víšková E., Fojt, B., Hrazdil, V., Houzar, S., (2013): Mineralogie magnetit-grunerit-sideritového zrudnění z Radoškova (jednotka Bílého potoka, svratecká klenba, moravikum). - Acta Musei Moraviae, Sci. geol., 98, 2, 39-50.

*Mineralogy of magnetite-grunerite-siderite ores in Radoškov (Bílý potok Unit, Svratka dome, Moravicum)*

Metamorphic iron mineralization was documented in an abandoned adit east of Radoškov, Czech Republic. Siderite-rich ore with magnetite, amphibole asbestos, chlorite and small amounts of pyrite occur in chlorite-muscovite and muscovite-biotite phyllites (Svratka Dome, Moravicum). Siderite associated with abundant pyrite and accessory (relic?) muscovite but no amphibole was detected in the same lithology at similar locality Javůrek-Stříbrnice. Siderite is (especially at the first locality) texturally complicated, mostly Mg-rich (20-40% Mg-component) with a low contents of Mn (Stříbrnice) and belongs among paragenetically early minerals. White fibrous amphibole and magnetite are younger metamorphic products. Chemical composition of the amphibole corresponds to grunerite with significant cumingtonite component ( $X_{Mg} = 37-38$ ), contents of other elements (e.g. Ca, Al) are very low. Sulphides are represented by pyrite and rare arsenopyrite. Conditions of metamorphic overprint were not precisely defined due to the wide stability of the assemblage siderite-magnetite-grunerite; major mineral assemblage of the surrounding metapelites (quartz+albite+chlorite+biotite+magnetite) indicates greenschist facies.

*Key words:* grunerite, asbestos, siderite, magnetite, iron ore, metamorphism, Bílý potok Unit, Moravicum.

Eva Višková, Vladimír Hrazdil, Stanislav Houzar - Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37 Brno, Czech Republic, eviskova@mzm.

Bohuslav Fojt, Institute of Geological Sciences, Masaryk University, Kotlářská 2, Brno, Czech Republic; fojt@sci.muni.cz

### ÚVOD

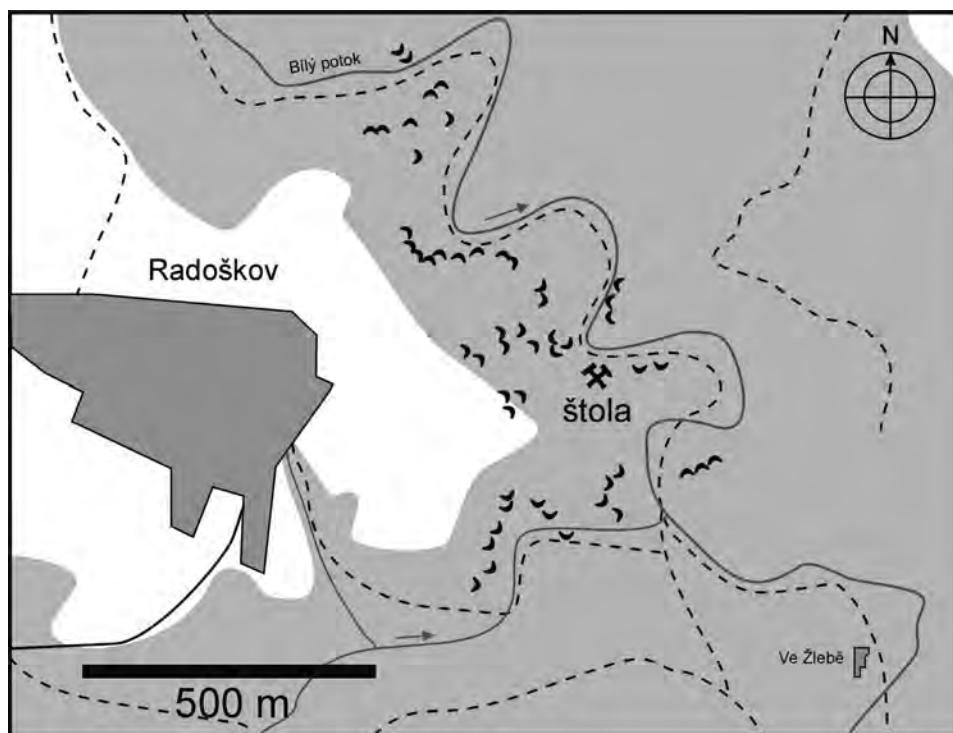
Ve svratecké klenbě moravika, v prostoru mezi Veverskou Bitýškou a Velkou Bíteší se těžily již od středověku železné rudy. Největší produkce bylo dosaženo v 19. století, kdy se zpracovávaly v místních hutích (Šmelcovna u Javůrku a Zastávka). Těženy byly převážně reziduální limonitové agregace, které vznikly supergenní přeměnou železem bohatých mineralizací různého původu (KRETSCHMER 1910, KOUTEK 1946, KUČERA 1980). O genezi daných mineralizací je dosud známo jen velmi málo. Nevýznamné vtroušeniny magnetitu v muskovit-chloritických fylitech a metatufitech, které tvoří výrazné magnetické anomálie, byly ojediněle těženy u Javůrku - podobně jako drobné žíly a žilníky ankeritu v meta-

pelitech a metakarbonátech. Podle starších literárních dat (KOUTEK 1946, BURKART 1953, SKÁCEL 1953) byl hlavní podíl těžby soustředěn na údajně, sideritem metasomaticky zatláčované metakarbonáty prekambričského až devonského stáří.

Mineralogická revize zdejších lokalit však výskyt posledního typu *sideritových ložiskových akumulací*, který měl být ekonomicky nejvýznamnější, až na dvě výjimky nepotvrdila. Siderit byl dosud určen pouze na dvou lokalitách, z nichž lokalita **Radoškov** (štolka v údolí Bílého potoka) představuje dosud neznámý typ metamorfogenní Fe-mineralizace v oblasti Českého masivu (HOUZAR *et al.* 2012). V některých aspektech se jí podobá i výskyt u *Javůrku-Strážnice*, který byl studován a pro srovnání rovněž uveden v předkládané práci.

## TOPOGRAFICKO-GEOLOGICKÁ SITUACE

Situace zmíněné štolky u Radoškova, z níž BURKART (1953) a KRUŤA (1966) uvedli na základě nálezů P. Chlupáčka několik minerálů (amfibolový asbest, arzenopyrit, halotrichit, chalkopyrit, chlorit, magnetit, melanterit, pyrit, pyrotin, siderit, tetradrit), byla donedávna neznámá. Popisované dílo se podařilo znovuobjevit v místě situovaném asi 1 km východně od Radoškova, v údolí na pravém břehu Bílého potoka, 500 m SZ od Staňkova mlýna (Ve Žlebě). Nachází se ve stráni asi 30 m vysoko nade dnem údolí (obr. 1). Jde o štolu se dvěma většími rozrážkami, které sledují přibližně foliaci fylitů. V tomto malém díle tvaru „T“ (celková délka chodeb je asi 10 m) byla sledována ložní poloha chloritického fylitu s hrubozrnným světle hnědým sideritem a dlouze vláknitým hnědobílým asbestem.



Obr. 1. Topografická situace štolky u Radoškova.

Fig. 1. Topographic position of the adit near Radoškov.

Asi 5 m na východ od štoly se nachází pozůstatek po mělkém příkopu, sledujícím patrně původní výchoz rudní polohy.

Lokalita Stříbrnice (katastr Javůrku) se nachází na pravém břehu bezejmenného potoka tekoucího od obce Lesní Hluboké do Bílého potoka, kam se vlévá u Javůreckého mlýna. Studované vzorky pocházejí z odvalu štoly relativně rozsáhlého opuštěného dolu Terezie, kde byly těženy limonitové železné rudy v 19. století (HOUZAR *et al.* 2012).

Z geologického hlediska jsou obě lokality součástí svratecké klenby moravika (jednotka Bílého potoka), které je přičítáno prekambričké stáří (JAROŠ a MÍSAŘ 1976, DALLMEYER *et al.* 1995, BATÍK 2004). Z litologického hlediska jde o komplex fylitů (křemen-muskovit-plagioklas  $\pm$ chlorit  $\pm$ biotit  $\pm$ magnetit) lokálně s vločkami metatufitů až metatufů (mají méně křemene, navíc obsahují epidot  $\pm$ turmalín). Magnetit tvoří starší deformované agregáty paralelní s foliací a jeho maximální množství jediné může dosahovat až 10 obj. %. Ve vyšší části jednotky je méně pestrých vloček, naopak nejvýše, při styku s bitešskou jednotkou, leží výrazný horizont muskovitických mramorů (KACHLÍK 1989). Celá jednotka Bílého potoka (v tektonickém smyslu tzv. vnitřní fylity) je ploše nasunuta na brunovistulikum (dřínovské nasunutí). Při kontaktu těchto celků se vyskytují tektonicky zaklíněné devonské karbonátové horniny (herolticko-lažánecké vápence) v květnickém, příp. závistském vývoji (JAROŠ a MÍSAŘ 1976, SCHULMANN *et al.* 1991, BATÍK 2004). O metamorfóze jednotky Bílého potoka není mnoho známo; minerální asociace (křemen+muskovit+albit  $\pm$ biotit  $\pm$ almandin-spessartin) v metapelitech odpovídají vyšší úrovni facie zelených břidlic (WEBER 1996, HOUZAR *et al.* 2012).

Studovaná sideritová mineralizace vystupuje v relativně monotónní sekvenci muskoviticko-chloritických až muskoviticko-biotitických fylitů, z tektonostratigrafického hlediska přibližně uprostřed jednotky Bílého potoka, a to v poloze o mocnosti asi 1–2 m. Ložní akumulace sideritu tvoří součást tektonicky deformované horniny složené z amfibolového asbestu (vlákna až 20 cm dlouhá), křemene a útržkovitými agregáty tmavozeleného chloritu. Stejnou geologickou pozici, v detailu však dosud nepřilíš známou, má i lokalita Stříbrnice. Vzhledem k alteraci a zvětrání hornin lze pouze uvést výskyt silně alterovaných fylitů a sideritizovaných (?) silicifikovaných karbonátových hornin. Za zmínku zde stojí jen tenké povlaky sýry na pyritem bohaté limonitizované hornině. Síra vznikla (sub)recentně rozkladem pyritu v redukčním prostředí (SEKANINA 1935). Z těchto míst se uvádí i polymetalická mineralizace, původ části zdejších rudních minerálů ve sbírkách je však pochybný (srov. HOUZAR *et al.* 2012)

## METODIKA

Asociace minerálů byla studována na elektronové mikrosondě Cameca SX-100 ve vlnově disperzním módu v Laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy, společném pracovišti Masarykovy univerzity a České geologické služby, Brno (operátoři R. Škoda a P. Gadas). Minerály (silikáty a karbonáty) byly analyzovány při urychlovacím napětí 15 kV, proudu svazku 10 nA, velikosti svazku 5  $\mu$ m (silikáty a oxidy) a 7  $\mu$ m (karbonáty). Standardy pro silikáty a magnetit: Na - albit; Si, Al, Mn - spessartin; Sr - SrSO<sub>4</sub>; Mg - pyrop nebo Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>; Ti - titanit; Cr - chromit; Cl - vanadinit; P - fluorapatit; Ca - wollastonit, K - sanidin; Fe - almandin; F - topaz; Zn - gahnit; Ba - baryt; Ni - Ni<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>; V - ScVO<sub>4</sub>; Fe pro magnetit - hematit. Pro sulfidy bylo použito napětí 25 kV, proud 20 nA, šířka svazku 2  $\mu$ m. Jako standardy byly použity čisté kovy, navíc Cd - CdTe; Fe - FeS<sub>2</sub>; In - InAs; Ni, As - pararammelsbergit; Se - PbSe; Zn - ZnS. Naměřená data byla korigována automatickou PAP korekcí (POUCHOU a PICHOU 1985). Identifikace gruneritu (odlišení od ferroantofylitu) bylo provedeno práškovou digrakční analýzou (přístroj Bruker D8 Advance a polovodičovým detektorem LynxEye, CuK $\alpha$ , 40kV, 40 mA, laboratoř Národního muzea, operátor I. Jebavá).

## PETROGRAFIE

Studované horniny z *Radoškova* jsou značně strukturně i mineralogicky heterogenní, od typů bohatých *sideritem*, žilkovitě pronikáným bílým a asbestovitým amfibolem (*cummingtonit-grunerit*) obsahujícím porfyroblasty *magnetitu* a lokálně i s drobnými hnízdy a žilkami jemnozrnného *chloritu* ( $\pm$ *křemen*), až po typy tvořené dlouze bílým amfibolovým asbestem (obr. 2). Textura je jak všesměrná (ve vzorcích bohatých *sideritem*), tak i lineárně a plošně paralelní (v případech převažujícího amfibolu s chloritem). *Siderit* někdy proniká asbestem v podobě neprůběžných žilkovitých agregátů (mladší metamorfogenní mobilizáty?). Struktura horniny je heteroblastická, fibro-granoblastická až lepido-fibroblastická. Místy se uplatnily i sulfidy, zejména pyrit, příp. pyrhotin a akcesorický arzenopyrit. Zvětráváním vznikly hojně rezavě hnědé povlaky „limonitu“ a vzácněji i recentní halotrichit a melanterit (srov. BURKART 1953, KRŮTA 1966); žluté práškovité povlaky náležejí minerálům skupiny jarositu.



Obr. 2. Hnědý siderit s vláknitým gruneritovým asbestem (velikost vzorku 12 cm).

Fig. 2. Brown siderite with fibrous grunerite asbestos (sample size 12 cm).

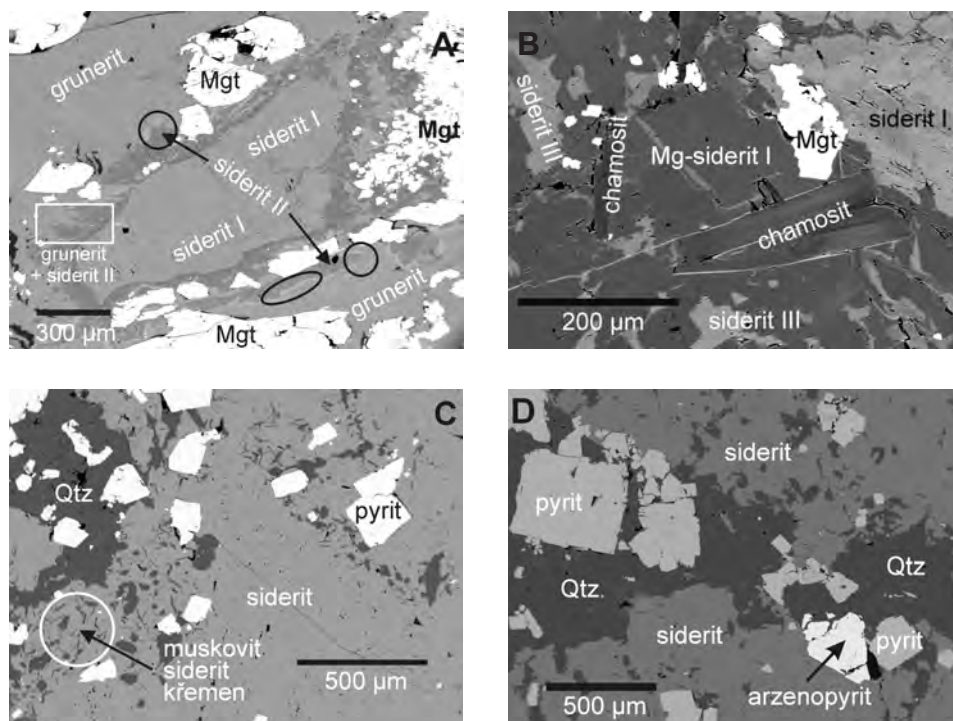
Vzorky ze *Stříbrnice* jsou masivní, s všesměrnou texturou, tvořené středně zrnitým *sideritem*, s kolísajícím podílem *křemene* a *muskovitu* (sericitu). Lokálně jsou nahloucheny zrnité agregáty automorfně omezených hexaedrů *pyritu* až 1 mm velkých, s obsahem drobnějších zrn *arzenopyritu*. V některých vzorcích je pyrit soustředěn i do krátkých nepravidelných deformovaných proužků. Fengitický *muskovit* s průměrným složením  $(K_{0,93} Na_{0,01} Ba_{0,01})_{0,94} (Al_{1,58} Mg_{0,39} Fe_{0,05})_{2,02} (Si_{3,38} Al_{0,60} Ti_{0,02})_4 O_{10} (OH_{1,90} F_{0,10})_2$  tvoří lokálně, hypautomorfně omezené lupínky o velikosti  $<0,1-0,2$  mm. Společně s nimi jsou za-

stoupena i hojná undulózně zhášejší laločnatá zrna *křemene*, který může tvořit i nepravidelné žilky. Struktura horniny je heteroblastická, granoblastická; velikost zrn sideritu převyšuje obvykle 1 mm. Jiný typ sideritové mineralizace je bez pyritu, relativně bohatší křemenem a muskovitem, silně limonitizovaný.

## MINERALOGIE

### Siderit

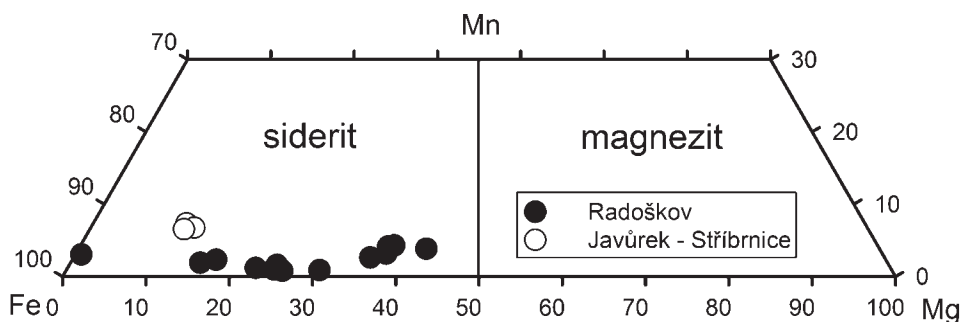
Je hlavním minerálem Fe obou studovaných lokalit. Čerstvý je světle hnědý, zvětráváním získává rezavě hnědou barvu a mění se v oxohydroxidy Fe. Mikroskopicky lze rozlišit několik texturních typů (obr. 3a, b). Převládajícím typem je hrubozrnný až středně zrnitý *siderit I*. Jeho individua jsou převážně nezonální, bohatší Fe, avšak lokálně i s relativně vyšším podílem Mg. Obsahují místy drobná zrna pyritu, křemene a arzenopyritu (obr. 3c, d), místy také hojnější inkluze muskovitu (Stříbrnice), nebo jsou



Obr. 3. Mikrostruktury studovaného metamorfogenního Fe-zrudnění. A - starší zrna sideritu I lemované Mg-sideritem II na styku s gruneritem s úzkou, Fe-bohatou zónou a mladším magnetitem na hranicích zrn (Radoškov); B - komplikovaně zónální zrna sideritu v asociaci s chloritem (Radoškov); C - asociace pyrit + siderit, inkluze muskovitu v okolí větších zrn křemene (Stříbrnice); D - agregát pyritu + arzenopyritu + křemene v sideritu (Stříbrnice).

Fig. 3. Microstructures of the studied metamorphogenic Fe-mineralization. A - older grain of siderite I rimmed by Mg-siderite II on the contact with grunerite with a narrow, Fe-rich zone and younger magnetite along grain boundaries (Radoškov); B - complex zoning in siderite grains associated with chlorite (Radoškov); C - pyrite + siderite assemblage, muscovite inclusions in the vicinity of larger quartz grains (Stříbrnice); D - aggregate of pyrite + arsenopyrite + quartz in siderite (Stříbrnice).

nevýrazně a nepravidelně zonální. Běžnější je též siderit v asociaci s magnetitem, uzavíraný v gruneritu (Radoškov). K druhému typu (*siderit II*) lze přiřadit nepravidelné zonální lemy (širší Mg bohatší lem s úzkou Fe-zónou na okraji zrna) prorůstané nepravidelně amfibolem na kontaktu větších zrn sideritu I a gruneritu (obr 3a). Jemnozrnný *siderit III* tvoří spolu s chloritem a amfibolem drobné shluky v intergranulárách sideritu I. Jako *siderit IV* lze označit úzké lamely (nebo mladší žilky?) s podílem magnetitu v sideritu I. V obrázcích jsou některé detaily struktur zdůrazněny (zakroužkovány). Jde s největší pravděpodobností o produkty komplikované metamorfní rekrystalizace studované rudniny, jejíž genetické vztahy lze jen obtížně jednoznačně interpretovat.



Obr. 4. Výřez ternárního diagramu pro složení sideritu z lokalit Radoškov a Javůrek-Stříbrnice.

Fig. 4. Section of the compositional ternary diagram for siderite from the localities Radoškov and Javůrek-Stříbrnice.

Tabulka 1. Reprezentativní WDX analýzy sideritu.

Table 1. Representative WDX analyses of siderite.

Č. analýzy	3	12	16	18	22	17	23	29s	30s	31s
	hm. % - wt. %									
FeO	53,43	58,94	50,34	48,87	49,65	40,45	39,94	51,92	52,16	52,50
MgO	5,64	0,25	8,38	9,28	9,35	14,26	14,54	4,00	4,49	4,05
MnO	1,23	1,87	0,82	1,04	0,65	2,82	2,95	4,61	4,30	4,15
CaO	0,37	0,86	0,35	0,70	0,30	0,60	0,83	0,44	0,43	0,40
SiO <sub>2</sub>	0,07	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,20	b.d.	0,04	b.d.
CO <sub>2</sub> calc.	40,04	38,23	40,77	41,26	41,26	42,57	43,12	39,38	39,92	39,47
Celkem	100,78	100,15	100,66	101,15	101,21	100,70	101,58	100,35	101,34	100,57
	3 O									
Fe <sup>2+</sup>	0,817	0,944	0,756	0,725	0,737	0,582	0,567	0,808	0,800	0,815
Mg <sup>2+</sup>	0,154	0,007	0,224	0,246	0,247	0,366	0,368	0,111	0,123	0,112
Mn <sup>2+</sup>	0,019	0,030	0,012	0,016	0,010	0,041	0,042	0,073	0,067	0,065
Ca <sup>2+</sup>	0,007	0,018	0,007	0,013	0,006	0,011	0,015	0,009	0,008	0,008
Si <sup>4+</sup>	0,001						0,003		0,001	
CATSUM	0,998	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	0,995	1,001	0,999	1,000
	Molární % (Molar-percent)									
FeCO <sub>3</sub>	85,6	95,0	80,7	77,9	79,1	64,7	64,5	83,4	83,0	84,2
MgCO <sub>3</sub>	11,7	0,5	17,4	19,2	19,3	29,6	30,5	8,3	9,3	8,4
MnCO <sub>3</sub>	2,0	3,0	1,3	1,7	1,1	4,6	4,8	7,5	6,9	6,7
CaCO <sub>3</sub>	0,7	1,5	0,6	1,2	0,5	1,1	0,2	0,8	0,8	0,7

3, 12, 16, 18, 22 – siderit/siderite Radoškov; 17, 23 – Mg-siderit Radoškov; 29, 30, 31 – siderit/siderite Stříbrnice (Javůrek)

Všechny typy sideritu se vyznačují proměnlivým podílem magnezitové složky (0,154–0,412 apfu Mg). Vzorky sideritu I z Radoškova tvoří řadu od téměř čistého sideritu až po individua s molárním obsahem 19,3 %  $MgCO_3$  (Tab. 1, analýzy č. 3, 12, 16, 18, 22; obr. 4). Lamely kolem sideritu I patří *Mg-sideritu* (Tab. 1, analýzy č. 17, 23; obr. 4) s molárním podílem  $MgCO_3$  kolem 30 % a zvýšeným zastoupením manganu (~0,040 apfu) ve srovnání se sideritem I (0,010–0,030 apfu). Některé bodové analýzy dosáhly až přes 40 % Mg-složky (obr. 4), v těchto případech však suma oxidů převyšovala 101 hm. %. Chemické složení sideritu z lokality Stříbrnice je relativně velmi homogenní, obsahy hořčičku jsou srovnatelné se sideritem I z Radoškova, zastoupení manganu je blízké Mg-sideritu z Radoškova (Tab. 1, analýzy 29s, 30s, 31s; obr. 4). Vápník je v sideritech na obou lokalitách zcela podřadným prvkem (0,003–0,018 apfu Ca). Obsahy Sr, Ba a REE jsou pod mezí detekce.

### Grunerit

Hlavním silikátem sideritového zrudnění je amfibolový asbest bílé až světle hnědé barvy. Vyskytuje se ve srůstech s magnetitem a chloritem. Ve výbrusech je jemně vláknitý, bezbarvý, v případě ojedinelých jehlic velikosti < 0,1 mm, zarostlých v zrnech sideritu, i slabě pleochroický (X, Y – bezbarvý, Z – světle šedomodrý). Podle optických vlastností náleží asbest monoklinickému amfibolu ( $\gamma/c < 15^\circ$ ), což bylo potvrzeno i RTG difrakční analýzou. Podobné amfibolové asbesty se označují také jako *amosit*. Chemické složení amfibolu odpovídá gruneritu s významným podílem cummingtonitové složky -  $X_{Mg} = 37-38$  (Tab 2). Jsou chudé Al (0,014–0,054 apfu), Mn (0,045–0,063 apfu) a Ca (0,020–0,026 apfu), nepatrný je podíl K  $\leq 0,029$ , Na  $\leq 0,018$  a Cr  $\leq 0,002$  (vše v apfu).

### Magnetit

Na lokalitě Radoškov tvoří xenomorfně až hypautomorfně omezená, nezřídka rozpraskaná zrna o velikosti 0,1 až 2 mm, velmi hojný je v nepravidelných magnetit-amfibolových žilkách pronikajících rupturně deformovaným sideritem. Vzácněji magnetit zarůstá samostatně do zrn sideritu poblíž kontaktu s amfibolem i chloritem, příp. je součástí nejmladších žilek Mg-sideritu ve starším sideritu I. Jde o chemicky nezonální, velmi čistý magnetit se složením  $(Fe^{2+}_{1,002-1,006}(Fe^{3+}_{1,979-1,987}Al_{0,008})_2O_4)$ . Podíl dalších analyzovaných prvků (Cr, Mn, Ni, Ti, V a Zn) byl na a pod hranici stanovitelnosti. Nízký, ale ve všech vzorcích zjištěný obsah Si (0,002–0,007 apfu) by bylo možné vysvětlit substitucí  $Si^{4+} \rightarrow Fe^{3+}$  (viz NEWBERRY *et al.* 1982, OHKAWA 2007). Nelze však vyloučit, že jde o vliv submikroskopických inkluzí amfibolového asbestu. Na lokalitě Stříbrnice je magnetit vzácný.

### Chlorit

Šedozelený chlorit je hlavním minerálem chloritických fylitů, které jsou hostitelským prostředím železorudné agregace. Podrobně byl studován jen chlorit v asociaci s amfibolovým asbestem a sideritem, který tvoří zelené lupínky velikosti kolem 0,5 mm. Jeho chemické složení podle současné klasifikace odpovídá chamositu bohatému Mg-složkou (2,631–2,804 Si; 2,598–3,012 Fe; 1,552–2,138 Mg a 0,008–0,018 Mn, vše v apfu). Podle starší klasifikace MELKY (1965) by chlorit odpovídal thuringitu a chamositu až klinochloru. Proti chloritům z prostředí typické železnorudné formace je studovaný chlorit bohatší Al a v diagramech spadá spíše do pole pelitů a felsických hornin (srov. diagram in MÜCKE *et al.* 2010).

### Pyrit a arzenopyrit

Zatímco na lokalitě Radoškov jde ve studovaných vzorcích o relativně nepatrně zastoupené minerály, představují tyto sulfidy na lokalitě Stříbrnice typické vedlejší až akcesorické komponenty rudnin (Obr. 3c, d). V obou případech jsou vtroušeny hlavně v sideritu, ale místy jsou hojnější v blízkosti nepravidelných křemenných žilek

Tabulka 2. Reprezentativní WDX analýzy monoklinických amfibolů.

Table 2. Representative WDX analyses of monoclinic amphiboles.

analýza č.	1	5	6	10	19	20	25	26	27
	hm. % - wt. %								
SiO <sub>2</sub>	53,08	53,12	52,45	52,75	52,70	52,70	52,98	52,88	52,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,14	0,20	0,12	0,08	0,30	0,12	0,09	0,10	0,14
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	0,02	b.d.	b.d.	b.d.	0,01	b.d.	b.d.	0,01
FeO*	33,25	33,16	33,03	32,76	32,82	33,50	34,61	33,00	32,79
MnO	0,35	0,36	0,41	0,40	0,39	0,45	0,49	0,41	0,36
MgO	11,23	11,27	11,10	11,25	11,05	10,85	10,50	11,19	11,26
CaO	0,15	0,16	0,14	0,12	0,14	0,15	0,14	0,14	0,16
Na <sub>2</sub> O	0,02	b.d.	0,02	0,04	b.d.	b.d.	b.d.	0,02	0,06
K <sub>2</sub> O	0,01	0,04	0,02	0,01	0,15	b.d.	0,01	0,01	0,02
F	0,03	0,01	0,04	b.d.	0,06	b.d.	b.d.	0,01	0,02
H <sub>2</sub> O**	1,96	1,97	1,93	1,96	1,93	1,96	1,97	1,96	1,96
O=F	-0,01	b.d.	-0,02	b.d.	-0,03	b.d.	b.d.	b.d.	-0,01
Celkem	100,22	100,31	99,24	99,37	99,51	99,74	100,79	99,72	99,67
	24 O								
Si <sup>4+</sup>	8,061	8,056	8,052	8,071	8,058	8,061	8,054	8,068	8,068
Al <sup>3+</sup>	0,025	0,036	0,022	0,014	0,054	0,022	0,016	0,018	0,025
Cr <sup>3+</sup>	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Fe <sup>2+</sup>	4,223	4,206	4,241	4,192	4,197	4,286	4,400	4,211	4,182
Mn <sup>2+</sup>	0,045	0,046	0,053	0,052	0,051	0,058	0,063	0,053	0,047
Mg <sup>2+</sup>	2,542	2,548	2,540	2,566	2,519	2,474	2,380	2,545	2,560
Ca <sup>2+</sup>	0,024	0,026	0,023	0,020	0,023	0,025	0,023	0,023	0,026
Na <sup>+</sup>	0,006	0,000	0,006	0,012	0,000	0,000	0,000	0,006	0,018
K <sup>+</sup>	0,002	0,008	0,004	0,002	0,029	0,000	0,002	0,002	0,004
CATSUM	14,929	14,928	14,941	14,929	14,931	14,927	14,938	14,926	14,931
F <sup>-</sup>	0,014	0,005	0,019	0,000	0,029	0,000	0,000	0,005	0,010
H <sup>+</sup>	1,986	1,995	1,981	2,000	1,971	2,000	2,000	1,995	1,990
O <sup>2-</sup>	23,986	23,995	23,981	24,000	23,971	24,000	24,000	23,995	23,990
AN SUM	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000	24,000

\* celkové Fe jako FeO, total Fe as a FeO

\*\* vypočteno ze stechiometrie, calculated by stoichiometry

a muskovitem bohatších partií. Pyrit tvoří izometrická zrna a hexaedrické automorfni krystaly, nepravidelně omezená zrna arzenopyritu jsou pouze mikroskopické velikosti. Kromě hlavních složek pyrit na obou lokalitách obsahuje 0,008–0,011 apfu As, stopový je obsah Au a Ag (max. na hranici detekčního limitu) a Co je pod hranicí detekce (Tab. 3).

## DISKUSE

Studované lokality se vyznačují minerální asociací:

(a) siderit + magnetit + grunerit + pyrit ± chlorit (Radoškov)

(b) siderit + pyrit ± křemen (Javůrek-Stříbrnice),

kteřé odpovídají převážně relativně jednoduchému chemickému systému FeO–MgO–SiO<sub>2</sub>–CO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O ±S, jen lokálně s podílem MnO a Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Obsah akcesorické-



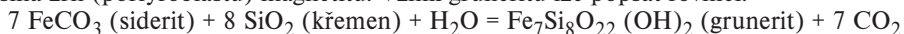
Tabulka 3. Reprezentativní WDX analýzy pyritu a arzenopyritu.  
Table 3. Representative WDX analyses of pyrite and arsenopyrite.

analýza č.	pyrit/pyrite					arzenopyrit/arzenopyrite			
	2	4	6	8	9	1	3	5	7
	hm. % - wt. %					hm. % - wt. %			
Fe	45,89	46,11	45,99	46,03	45,94	34,76	35,00	34,89	34,93
As	0,52	0,68	0,69	0,52	0,48	42,41	42,59	42,74	42,15
S	53,10	53,03	52,98	53,26	53,26	21,93	21,68	21,95	22,06
Celkem	99,56	99,89	99,67	99,86	99,70	99,10	99,29	99,67	99,18
Fe	0,992	0,995	0,994	0,992	0,991	0,997	1,005	0,997	1,000
As	0,008	0,011	0,011	0,008	0,008	0,907	0,911	0,910	0,899
S	1,999	1,993	1,995	1,999	2,001	1,096	1,084	1,092	1,100

Vzorec rozpočten na sumu 3 atomů – formula contents on a basis 3 atoms

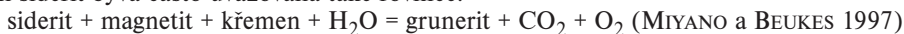
ho arzenopyritu je ve studovaných vzorcích nepatrný, jiné minerály uváděné v literatuře nebyly zjištěny. Za zmínku stojí nepřítomnost většího množství Al a zvláště Ca a P (minerály dolomitové skupiny, kalcit a apatit chybějí).

Siderit (Mg-siderit) se vyznačuje komplikovanou metamorfogenní texturou (lze rozlišit 4 typy), avšak chemické složení nejeví žádné větší rozdíly; na lokalitě Stříbrnice má vyšší obsah Fe a Mn. Společně s částí (?) pyritu a magnetitu (?) náleží v asociaci zřetelně ke starším minerálům. Je křehce deformován a žilkovitě pronikán asbestovitým gruneritem s významným podílem cummingtonitové složky. Na tento amfibol je vázána i většina zrn (porfyroblastů) magnetitu. Vznik gruneritu lze popsat rovnicí:



Molární podíl  $X_{\text{Mg}}$  sideritu I kolísá od 20 do 40, u gruneritu je relativně stálý a to 37–38, podobně jako u chloritu (34–45). Reliktní křemen se z předpokládané reakce nezachoval,  $\text{SiO}_2$ , stejně jako  $\text{H}_2\text{O}$ , mohl být importován i z okolní horniny.

Ve světě je grunerit znám jako běžný typomorfní minerál železnorudné formace, metamorfované v podmínkách středních stupňů regionální i kontaktní metamorfózy, a v těchto případech jsou pro něj typické jeho asbestovité variety, tzv. amosit (KLEIN 1983, TRACY a FROST 1991, MIYANO a BEUKES 1997). Podmínky metamorfózy hornin s gruneritem lze vzhledem k širokému rozsahu PT-podmínek stability (Mg-)sideritu i (Mg-)gruneritu odhadnout podle údajů v literatuře a experimentálních prací pouze přibližně u  $T > 350 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při 6 kbar je siderit+magnetit stabilní do  $640 \text{ }^\circ\text{C}$ , při 10 kbar až do  $740 \text{ }^\circ\text{C}$ , podíl Mg tyto podmínky dále rozšiřuje (MIYANO a KLEIN 1986). Pro vznik gruneritu v horninách obsahujících siderit bývá často uvažována také rovnice:



v Radoškově však magnetit společně s gruneritem náleží k mladší asociaci.

Grunerit dosud patří v Českém masivu k relativně vzácným minerálům. Ponecháme-li stranou specifické vzácné výskyty grunerit-cummingtonitu v regionálně metamorfovaných skarnech (NĚMEC 1971, PERTOLDOVÁ in NĚMEC 1991, PERTOLDOVÁ *et al.* 2009), popsala jej podrobně pouze FEDUKOVÁ (1997) v asociaci s almandinem z devonských kvarcitů silesika. Autorka předkládá názor o úzkém genetickém vztahu gruneritu se stratiformní železnorudnou formací dané oblasti. Jeho vznik vysvětluje reakcí křemene s magnetitem v hornině chudé hliníkem. Nověji byl grunerit popsán z karbonát (kalcit)-magnetitových rudnin metamorfovaného ložiska Horní Hoštice (stroňská skupina) a z metamorfovaného ložiska Malý Děd (vrbenská skupina silesika) typu Lahn Dill (ZIMÁK 2008, MÜCKE *et al.* 2010).

V případě lokality Radoškov lze předpokládat, že jde o produkt metamorfózy sideritového protolitu, původně snad sedimentárního nebo hydrotermálního původu. Pro jeho vznik metasomatózou (meta)karbonátových hornin za externího přínosu Fe a SiO<sub>2</sub> nebyly nalezeny důkazy; navíc přímo ve studované litologické sekvenci jednotky Bílého potoka mramory i devonské vápence chybějí. Pro stabilitu sideritu byl nutný zejména vysoký X<sub>CO<sub>2</sub></sub>, který se s růstem metamorfózy a patrně za přínosu H<sub>2</sub>O postupně snižoval. Redox-podmínky metamorfózy odpovídají střední aktivitě O<sub>2</sub>, pufrované krystalizací magnetitu (+ gruneritu) namísto sideritu; hematit nebyl vůbec zjištěn. Podmínky stability cummingtonit-gruneritu, sideritu, křemene a magnetitu (Radoškov) i sideritu+pyritu (Stříbrnice) jsou v souhlasu s převažující minerální asociací okolních metapelitů (křemen + albit + chlorit + biotit + magnetit). Redukčnější podmínky a nižší fugacitu O<sub>2</sub> lze předpokládat v asociaci pyrit-siderit.

Popsaná siderit-magnetit-gruneritová mineralizace představuje pravděpodobně nový typ metamorfogenního Fe-zrudnění v rámci Českého masivu. Nejvíce se blíží některým typům prekambriické železnorudné formace bohaté karbonáty (typ Algoma), známé z prekambria různých oblastí ve světě (KLEIN a BEUKES 1993). Částečně se podobá také některým výskytům synmetamorfních sideritových žil variského stáří v externí zóně renohercynika (HEIN 1993).

## ZÁVĚR

V chloritických fylitech jednotky Bílého potoka (svratecká klenba moravika) byla zjištěna Fe-bohatá metamorfogenní minerální asociace. Podrobně byla studována na lokalitě Radoškov, kde byla v minulosti odkryta krátkou štolou. Je tvořena hrubozrnným Mg-sideritem s komplikovaným texturním sestavením. Siderit je pronikán jehlicovitým až asbestovitým Mg-gruneritem, srůstajícím s magnetitem. K vedlejším minerálům náleží chlorit (Mg-chamosit) a vlasově tenké žilky křemene, lokálně hojnější je pyrit. Podobná asociace, avšak bez amfibolu a chloritu, v níž je siderit s relativně vyšším podílem Mn doprovázen pyritem, akcesorickým arzenopyritem a Mg-muskovitem, avšak bez gruneritu, byla zjištěna na ne-daleké lokalitě Javůrek-Stříbrnice. Obě lokality mohou reprezentovat dvě stadia multifázové metamorfózy, starší složením blízkou protolitu, se sideritem a pyritem a mladší silněji metamorfovanou s cummingtonit-gruneritem a magnetitem. Z genetického hlediska jde o sideritovou mineralizaci sedimentárního nebo hydrotermálního původu, značně chudou Ca, Al, P a částečně Si, Mn a S, jenž byla metamorfována v podmínkách nejvyšší části facie zelených břidlic. Vyšší obsah siry je dokumentovaný zejména na lokalitě Javůrek-Stříbrnice hojnějším pyritem, příp. arzenopyritem a nepřítomností magnetitu. Podmínky metamorfózy, zejména teplotu, lze odhadnout na základě podobných minerálních asociací ve světě pouze velmi přibližně (T > 350 °C). Vzhledem ke stabilitě sideritu lze uvažovat i o relativně vysokém počátečním X<sub>CO<sub>2</sub></sub>, který se s postupem metamorfózy (a přínosem externí H<sub>2</sub>O?) do studované asociace postupně snižoval. Takové metamorfní podmínky odpovídají úrovni metamorfózy, odhadnuté pro jednotku Bílého potoka (biotitová, místy granátová zóna). Jde o první výskyt Fe-mineralizace tohoto typu v Českém masivu.

## PODĚKOVÁNÍ

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862). Za RTG identifikaci gruneritu děkujeme dr. J. Sejkorovi (Národní muzeum), za podnětné připomínky recenzentům doc. dr. J. Zimákov (Palackého univerzita, Olomouc) a doc. dr. Lososovi (Masarykova univerzita, Brno).

## LITERATURA

- BATÍK, P., 2004: The contact between the Variscan and Cadomian blocks in the Svratka Dome (Bohemian Massif, Czech Republic). – *Bull. Geoscience*, 79, 4, 243–250.
- BURKART, E., 1953: Moravské nerosty a jejich literatura. Mährens Minerale und ihre Literatur. – Nakl. ČSAV. Praha, 1008 p.
- DALLMEYER, R. D., FRANKE, W., WEBER, K., 1995: Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe. – Springer Verlag Berlin-Heidelberg, 604 p.
- D'ELVERT, Ch., 1866: Zur Geschichte des Bergbaues und Hüttenwesens in Mähren und Oest. Schlesien. – *Schriften der stat.-hist. Section der mähr.-schles. Gesellschaft*, Bd. 15, Brünn, 438 p.
- FEDIUKOVÁ, E., 1997: Grunerite and almandine from quartzites related to the stratiform iron ore formations of the Silesicum (Czech Republic, Northern Moravia). – *Krystalinikum*, 23, 19–31.
- HEIN, V., 1993: Symmetamorphic Variscan siderite mineralisation of the Rhenish Massif, Central Europe. – *Min. Mag.*, 57, 451–467.
- HOUZAR, S., KOCOURKOVÁ, E., HRAZDIL, V., TOMAN, J., CEMPÍREK, J., 2012: Topografie historického dolování a rudní mineralizace v oblasti Bílého potoka, západní Morava. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 97, 2, 3–45.
- JAROŠ, J., MISAŘ, Z., 1976: Nomenclature of the tectonic and lithostratigraphic units in the Moravian Svratka Dome (Czechoslovakia). – *Věst. Ústř. úst. geol.*, 51, 113–122.
- KACHLIK, V., 1989: A contribution to the tectono-magmatic history of the Moravian unit in the core of the Svratka Dome. – *Krystalinikum*, 20, 49–64.
- KLEIN, C., 1983: Diagenesis and metamorphism of Precambrian banded iron-formations. In: Trendall, A. F. & Morris, R. C. (eds.): Iron formations: Facts and Problems. – Amsterdam, Elsevier, 417–469.
- KLEIN, C., BEUKES, N. J., 1993: Proterozoic iron-formations. – In: Condie, K. C., ed.: *Proterozoic crustal evolution*, 10, 383–418. Elsevier, Amsterdam.
- KOUTEK, J., 1946: Genetické typy ložisk železné rudy na Českomoravské vysočině. – *Sbor. Přírod. Kl. v Třebíči za r. 1939–1945*, 4, 60–62.
- KRETSCHMER, F., 1910: Die Erzvorräte der wichtigsten Eisenlagerstätten Mährens. – *Mitt. d. geol. Gesellsch.*, 3, 457 p.
- KRUŤA, T., 1966: Moravské nerosty a jejich literatura 1940–1965. – Moravské muzeum, Brno, 379 p.
- KUČERA, K., 1980: Železářství mezi Velkou Bíteší a Veverskou Bítýškou. – Technické muzeum v Brně, 112 p.
- MELKA, K., 1965: Návrh na klasifikaci chloritových minerálů. – *Věst. Ústř. úst. geol.*, 40, 23–29.
- MIYANO, T., KLEIN, C., 1986: Fluid behavior and phase relations in the system Fe-Mg-Si-C-O-H: applications in the high grade metamorphism of iron-formations. – *Amer. J. Sci.*, 286, 540–575.
- MIYANO, T., BEUKES, N. J., 1997: Mineralogy and Petrology of the Contact metamorphosed Amphibole Asbestos-bearing Penge Iron Formation, Eastern Transvaal, South Africa. – *J. Petrol.*, 38, 5, 651–676.
- MÜCKE, A., FOJT, B., DOLNÍČEK, Z., 2010: Petrography, mineralogy, geochemistry and genetic aspect of the Lahn-Dill type deposit of Malý Děd (= Leiterberg) in the devonian Vrbno Group (Silesicum), Czech Republic. – *Acta Mus. Morav., Sci. geol.*, 95, 2, 95–129.
- NĚMEC, D., 1971: Genese der Grossular-Almandine und Grunerit-Cummingtonite in Westmährens. – *Krystalinikum*, 7, 95–117.
- NĚMEC, D., 1991: Regional typization of the iron skarns of the Bohemian-Moravian Heights (Českomoravská vrchovina). – *Acta Mus. Morav., Sci. nat.*, 76, 1/2, 51–82.
- NEWBERRY, N., G., PEACOR, D., R., ESSENE, E., J., GEISSMAN, J., W., 1982: Silicon in magnetite: High resolution microanalysis of magnetite-ilmenite intergrowths. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80, 4, 334–340.
- OHKAWA, M., NIAGARA, M., OHTA, E., HOSHIRO, K., 2007: Silicon substituted magnetite and accompanying iron oxides and hydroxides from the Kumano mine, Yamaguchi Prefecture, Japan: Reexamination of the so-called maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). – *J. Mineral. Petrolog. Sci.*, 102, 3, 182–193.
- PERTOLDOVÁ, J., TYCOVÁ, R., VERNER, K., KOŠULIČOVÁ, M., PERTOLD, Z., KOŠLER, J., KONOPÁSEK, J., PUDILOVÁ, M., 2009: Metamorphic history of skarns, origin of their protolith and implications for genetic interpretation; an example from three units of the Bohemian Massif. – *J. Geosciences*, 54, 2, 101–134.
- POUCHOU, J. L., PICHOR, F., 1985: "PAP" procedure for improved quantitative microanalysis. – *Microbeam Analysis*, 20, 104–105.
- SEKANINA, J., 1935: Moravská síra, její původ a nerosty s ní sdružené. – *Zpráva Komise přírod. Výzk. Mor. Sléz., Odd. Mineral.*, 6, 1–29.
- SCHULMANN, K., LEDRU, P., AUTRAN, A., MELKA, R., LARDEAUX, J. M., URBAN, M., LOBKOWITZ, M., 1991: Evolution of nappes in the eastern margin of the Bohemian Massif: a kinematic interpretation. – *Geol. Rdsch.*, 80, 1, 73–92.
- SKÁČEL, J., 1953: Geologické poměry v jižní části svratecké klenby. – *Čas. Morav. mus. v Brně*, 38, 71–86.

- TRACY, R. J., FROST, B. R., 1991: Phase equilibria and thermobarometry of calcareous, ultramafic and mafic rocks, and iron formations. - In: Kerrick, M. D. (ed.): Contact metamorphism, *Reviews in Mineralogy*, 26, *Mineral. Soc. Amer.*, 207-289.
- WEBER, R., 1996: Metamorfóza skupiny Bílého potoka moravika svratecké klenby. - *MS, Diplomová práce*, Katedra mineralogie, petrografie a geochemie PřF MU, Brno.
- ZIMÁK, J., 2008: Mineralogie železných rud na historickém ložisku Horní Hoštice v Rychlebských horách (Česká republika). - *Bull. Mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha)*, 16, 2, 1211-0329.